

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-280230  
(P2002-280230A)

(43)公開日 平成14年9月27日(2002.9.27)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード(参考)
H 0 1 F 30/00		H 0 1 F 17/00	B 5 E 0 7 0
17/00		19/00	Z
19/00		31/00	D
			M

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願2001-75651(P2001-75651)

(22)出願日 平成13年3月16日(2001.3.16)

(71)出願人 000003067

ティーディーケー株式会社  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72)発明者 蒲生 正浩

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(72)発明者 堀上 智

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(74)代理人 100107559

弁理士 星宮 勝美

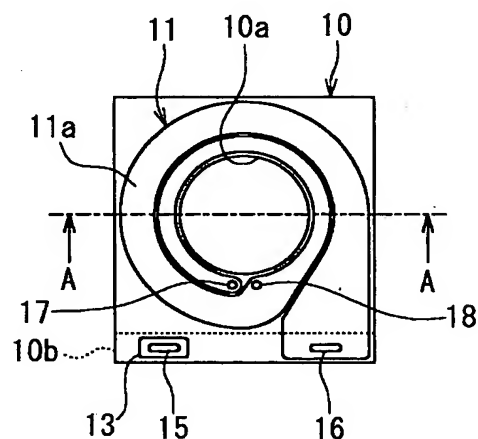
Fターム(参考) 5E070 AA11 AB01 CB03 CB13 CB15  
CB17

(54)【発明の名称】 平面コイルおよび平面トランス

(57)【要約】

【課題】 奇数ターンの巻線を備え、薄型化が可能で、導体層の層数の設計の自由度が大きく、損失の小さな平面コイルおよび平面トランスを提供する。

【解決手段】 平面コイルは、絶縁層10と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターン11aを有する第1の導体層11と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターンを有し、絶縁層10を介して第1の導体層に重ね合わされた第2の導体層とを備えている。第1の導体パターン11aと第2の導体パターンは、それぞれN(Nは1以上の整数)+1ターンの巻線部分を含む。第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分である。この最も内側の巻線部分同士は並列に接続され、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターンによって2N+1ターンの巻線が構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 平板状の導体によって形成された奇数ターンの巻線を有する平面コイルであって、

絶縁層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターンを有する第1の導体層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターンを有し、前記絶縁層を介して前記第1の導体層に重ね合わされた第2の導体層とを備え、

前記第1の導体パターンと第2の導体パターンは、それぞれN（Nは1以上の整数）+1ターンの巻線部分を含み、

前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続されることにより、前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンによって2N+1ターンの巻線が構成されていることを特徴とする平面コイル。

【請求項2】 前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分であることを特徴とする請求項1記載の平面コイル。

【請求項3】 前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、内側からnターン（nは1以上、N+1以下の整数）目の巻線部分の内周部の半径を $r_i(n)$ 、外周部の半径を $r_o(n)$ とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径 $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差 $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離Dが与えられたときに、式（1）で表されるAの値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められていることを特徴とする請求項1記載の平面コイル。

【数1】

$$A = \sum_{n=1}^{N+1} K(n) \left( \log \frac{r_o(n)}{r_i(n)} \right)^{-1} \cdots (1)$$

（ただし、 $K(1)=0.5$ 、 $n \geq 2$ のとき $K(n)=2$ 、 $r_i(1)=r_{min}$ 、 $r_i(n+1)-r_o(n)=D$ 、 $r_o(N+1)-r_i(1)=W_{total}$ ）

【請求項4】 複数組の絶縁層、第1の導体層および第2の導体層が厚さ方向に積層され、各組毎の巻線が並列に接続されていることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の平面コイル。

【請求項5】 それぞれ平面的に配置された導体によって形成された一次巻線と二次巻線とを有する平面トランスであって、前記一次巻線と二次巻線の少なくとも一方は、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターンを有する第1の導体層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターンを有し、絶縁層を介して前記第1の導体層に重ね合わされた第2の導体層とを備え、

前記第1の導体パターンと第2の導体パターンは、それぞれN（Nは1以上の整数）+1ターンの巻線部分を含み、

前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続されることにより、前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンによって2N+1ターンの巻線が構成されていることを特徴とする平面トランス。

【請求項6】 前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分であることを特徴とする請求項5記載の平面トランス。

【請求項7】 前記第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、内側からnターン（nは1以上、N+1以下の整数）目の巻線部分の内周部の半径を $r_i(n)$ 、外周部の半径を $r_o(n)$ とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径 $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差 $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離Dが与えられたときに、式（1）で表されるAの値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められていることを特徴とする請求項5記載の平面トランス。

【数2】

$$A = \sum_{n=1}^{N+1} K(n) \left( \log \frac{r_o(n)}{r_i(n)} \right)^{-1} \cdots (1)$$

（ただし、 $K(1)=0.5$ 、 $n \geq 2$ のとき $K(n)=2$ 、 $r_i(1)=r_{min}$ 、 $r_i(n+1)-r_o(n)=D$ 、 $r_o(N+1)-r_i(1)=W_{total}$ ）

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された導体パターンよりなる巻線を有する平面コイルおよび平面トランスに関する。

【0002】

【従来の技術】 平面コイルや平面トランスは、スイッチング電源等におけるチョークコイルやトランスとして使われている。平面コイルや平面トランスは、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された導体パターンよりなる巻線を有している。平面トランスや複数の導体パターンを有する平面コイルでは、複数の導体パターンが絶縁層を介して厚さ方向に積み重ねられている。

【0003】 平面コイルや平面トランスのうち、出力電流が比較的小さなものは、例えば、スパッタ法等の薄膜形成技術によって、渦巻き状の導体パターン、絶縁層および磁性層を積み上げて形成される。また、平面コイルや平面トランスのうち、出力電流が中程度のものは、例えば、各面における導体層をエッチングして各面に渦巻き状の導体パターンを形成した両面プリント基板を、絶縁層を介して積層してなるプリントコイルや、導体板を

打ち抜いて形成した渦巻き状の導体パターンを絶縁層を介して積層してなるコイルが用いられる。これらのコイルには、渦巻き状の導体パターンの中心部分において厚さ方向に貫通する孔が形成され、この孔に、EE型フェライトコア等の磁性体が挿入される。

【0004】上述のような平面コイルや平面トランスは、薄型化が可能であるため、特に小型、薄型のスイッチング電源等に使われている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】近年、IC（集積回路）の集積度の増大に伴うICの動作電圧の低下、大電流化等により、スイッチング電源には小型化と共に大電流化が求められている。チョークコイルやトランスにおける導体の抵抗による損失、いわゆる銅損は、電流値の二乗に比例して大きくなる。そのため、チョークコイルやトランスとして用いられる平面コイルや平面トランスでは、導体の抵抗値の低減が重要な課題となっている。

【0006】ところで、チョークコイルやトランスにおける巻線のターン数（巻数）は、スイッチング電源に要求されるリップル電圧や入出力電圧比、更には電源駆動周波数やコアの形状、物性等で決定されるが、奇数のターン数が要求されることも多い。プリントコイルは、ワイヤーを使ったコイルよりも巻線の設計の自由度が高い。例えば、プリントコイルでは、導体パターンの幅を変えることによって、決められた巻棒（導体パターンの配置領域）内に任意のターン数の巻線を形成することができる。また、プリントコイルでは、同じパターンの複数の導体パターンを積層し、これらをスルーホール等を用いて並列に接続することで、許容電流容量を調整することもできる。

【0007】従来、平面コイルや平面トランスにおいて、3ターン以上の奇数のターン数の巻線を形成する方法としては、主に以下の4つの方法が用いられていた。第1の方法は、要求される奇数ターンの巻線を、奇数ターンの導体パターンを有する1層の導体層で形成する方法である。第2の方法は、例えば特開平4-113605号公報に示されるように、1ターンの導体パターンを有する導体層を奇数層だけ直列に接続する方法である。第3の方法は、偶数ターンの導体パターンを有する導体層と奇数ターンの導体パターンを有する導体層とを直列に接続する方法である。第4の方法は、例えば特開平10-163039号公報の図6ないし図9に示されるように、 $[\text{偶数} + \alpha]$  ターン（ $\alpha$ は0より大きく、1より小さい）の導体パターンを有する導体層と $[\text{偶数} + (1 - \alpha)]$  ターンの導体パターンを有する導体層とを直列に接続する方法である。

【0008】しかしながら、上記のいずれの方法でも、以下のような問題点があった。第1の方法では、巻線の一方の端子を導体パターンの内周縁付近から導出する必要がある。そのため、第1の方法では、通常、平面コ

イルに使用されているようなコア、すなわち、巻線を貫通するように配置される部分（いわゆる中足）と巻線の外周側に配置される部分（いわゆる外足）との接続部分が巻線のほとんどを覆うように幅が広がっているコアを使用することができない。第1の方法を用いる場合には、コアとしては、上記接続部分が、導体パターンの内周縁付近から導出される巻線の端子にぶつからないように、上記接続部分の幅の狭いコアを用いる必要がある。この場合、磁束が飽和しないようなコアの断面積を確保するためには、コアの厚さを大きくする必要がある。従って、第1の方法では、平面コイルまたは平面トランスの薄型化が難しくなるという問題がある。

【0009】第2の方法では、要求されるターン数と同じ数だけの導体層を積層するため、平面コイルまたは平面トランスが厚くなるという問題点がある。また、第2の方法では、要求されるターン数が多くなるほど、奇数層の導体層を直列に接続するための接続部が多く必要になる。例えば、5ターンの巻線を形成する場合には、端子以外の接続部が4箇所必要となる。そのため、平面コイルまたは平面トランスにおいて、接続部を配置するための領域を広く確保する必要が生じるという問題点がある。また、第2の方法では、導体層の層数が巻線のターン数と一致するため、導体層の層数の設計の自由度が小さいという問題点がある。例えば、5ターンの巻線を形成する場合には、導体層の数は5層単位となる。すなわち、この場合には、例えば電流容量を増やすために導体層の数を増やすには、導体層の層数を5の倍数にするしかなく、所望の電流容量を得るために例えば8層や12層とすることは不可能である。

【0010】第3の方法および第4の方法では、2つの導体層で導体パターンの巻き方向を逆にし、2つの導体パターンの内側の端部同士を電気的に接続することにより、巻線の2つの端子を2つの導体パターンの外側の端部より導出することが可能になる。従って、第3の方法および第4の方法では、巻線の両端子をコアの外側に配置することができるため、中足と外足との接続部分の幅の広い、薄型のコアを使用することができる。また、第3の方法および第4の方法では、導体層の層数の設計を2層単位で行うことができ、導体層の層数の設計の自由度は大きい。

【0011】しかしながら、第3の方法および第4の方法では、巻線全体の中で、導体パターンの幅が大きく異なる所が生じるため、巻線の部分によって電流密度が変化する。そのため、第3の方法および第4の方法では、損失を小さくするという観点では、導体パターンの最適な設計はできない。

【0012】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、奇数ターンの巻線を備えた平面コイルおよび平面トランスであって、薄型化が可能で、導体層の層数の設計の自由度が大きく、損失の小さな平面コ

10

20

30

40

50

イルおよび平面トランスを提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の平面コイルは、平板状の導体によって形成された奇数ターンの巻線を有するものであって、絶縁層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターンを有する第1の導体層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターンを有し、絶縁層を介して第1の導体層に重ね合わされた第2の導体層とを備え、第1の導体パターンと第2の導体パターンは、それぞれN（Nは1以上の整数）+1ターンの巻線部分を含み、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続されることにより、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンによって2N+1ターンの巻線が構成されているものである。

【0014】本発明の平面コイルでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続され、これらによって巻線における1ターン分の導電路が構成される。また、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおける他の巻線部分によって2Nターン分の導電路が構成される。本発明では、第1の導体パターンと第2の導体パターンとを、それらの幅に関して同様のパターンにすることが可能である。また、本発明では、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分によって構成される1ターン分の導電路の厚さは他の導電路の厚さの2倍となるが、その幅を調整することで、2N+1ターンの巻線全体の抵抗値を小さくして、巻線全体における損失を小さくすることが可能である。なお、本発明は、第1の導体層と第2の導体層が絶縁層のみを介して重ね合わされている場合に限らず、絶縁層に加え、他の層も介して第1の導体層と第2の導体層が重ね合わされている場合も含む。

【0015】本発明の平面コイルでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分であってもよい。この場合には、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分によって構成される1ターン分の導電路の厚さは他の導電路の厚さの2倍となるが、その幅は実質的に他の導電路の幅の半分となるので、その断面積は実質的に他の導電路の断面積と等しくなる。従って、2N+1ターンの巻線の各部における電流密度は均一化され、巻線における損失が低減される。

【0016】なお、本出願において、巻線部分とは、導体パターンのうちの1ターン分の部分を言う。また、本出願において、「実質的に半分」というのは、正確に半分の値と、それに対して設計上での丸め誤差や製造上の誤差等の許容範囲の誤差を含めた値を含むという意味である。

【0017】また、本発明の平面コイルでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、内側からnターン（nは1以上、N+1以下の整数）目の巻線部分の内周部の半径を $r_i(n)$ 、外周部の半径を $r_o(n)$ とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径 $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差 $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離Dが与えられたときに、以下の式（1）で表されるAの値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められていてもよい。ただし、 $K(1)=0$ 、 $5$ 、 $n \geq 2$ のとき $K(n)=2$ 、 $r_i(1)=r_{min}$ 、 $r_i(n+1)-r_o(n)=D$ 、 $r_o(N+1)-r_i(1)=W_{total}$ である。

【0018】

【数3】

$$A = \sum_{n=1}^{N+1} K(n) \left( \log \frac{r_o(n)}{r_i(n)} \right)^{-1} \dots (1)$$

【0019】このように、式（1）で表されるAの値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ を設定することにより、2N+1ターンの巻線全体の抵抗値が最小になり、その結果、巻線全体における損失が最小になる。

【0020】また、本発明の平面コイルにおいて、複数組の絶縁層、第1の導体層および第2の導体層が厚さ方向に積層され、各組毎の巻線が並列に接続されていてもよい。

【0021】本発明の平面トランスは、それぞれ平面的に配置された導体によって形成された一次巻線と二次巻線とを有するものであって、一次巻線と二次巻線の少なくとも一方は、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターンを有する第1の導体層と、平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターンを有し、絶縁層を介して第1の導体層に重ね合わされた第2の導体層とを備え、第1の導体パターンと第2の導体パターンは、それぞれN（Nは1以上の整数）+1ターンの巻線部分を含み、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続されることにより、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンによって2N+1ターンの巻線が構成されているものである。

【0022】本発明の平面トランスでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士が並列に接続され、これらによって巻線における1ターン分の導電路が構成される。また、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおける他の巻線部分によって2Nターン分の導電路が構成される。本発明では、第1の導体パターンと第2の導体パターンとを、それらの幅に関して同様のパターンにすることが可能である。また、本発明では、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分によって構成され

る1ターン分の導电路の厚さは他の導电路の厚さの2倍となるが、その幅を調整することで、 $2N+1$ ターンの巻線全体の抵抗値を小さくして、巻線全体における損失を小さくすることが可能である。なお、本発明は、第1の導体層と第2の導体層が絶縁層のみを介して重ね合わされている場合に限らず、絶縁層に加え、他の層も介して第1の導体層と第2の導体層が重ね合わされている場合も含む。

【0023】本発明の平面トランスでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分であってもよい。この場合には、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分によって構成される1ターン分の導电路の厚さは他の導电路の厚さの2倍となるが、その幅は実質的に他の導电路の幅の半分となるので、その断面積は実質的に他の導电路の断面積と等しくなる。従って、 $2N+1$ ターンの巻線の各部における電流密度は均一化され、巻線における損失が低減される。

【0024】また、本発明の平面トランスでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、内側から $n$ ターン( $n$ は1以上、 $N+1$ 以下の整数)目の巻線部分の内周部の半径を $r_i(n)$ 、外周部の半径を $r_o(n)$ とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径 $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差 $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離 $D$ が与えられたときに、以下の式(1)で表される $A$ の値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められていてもよい。ただし、 $K(1)=0.5$ 、 $n \geq 2$ のとき $K(n)=2$ 、 $r_i(1)=r_{min}$ 、 $r_i(n+1)-r_o(n)=D$ 、 $r_o(N+1)-r_i(1)=W_{total}$ である。

【0025】

【数4】

$$A = \sum_{n=1}^{N+1} K(n) \left( \log \frac{r_o(n)}{r_i(n)} \right)^{-1} \cdots (1)$$

【0026】このように、式(1)で表される $A$ の値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ を設定することにより、 $2N+1$ ターンの巻線全体の抵抗値が最小になり、その結果、巻線全体における損失が最小になる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【第1の実施の形態】まず、図1ないし図4を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図1は本実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図2は本実施の形態に係る平面コイルにおける絶縁層を示す平面図、図3は本実施の形態に係る平面コイル

における第2の導体層を示す平面図、図4は図1におけるA-A線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【0028】本実施の形態に係る平面コイルは、矩形状の板状の絶縁層10と、この絶縁層10の一方の面(上面)に形成された第1の導体層11と、絶縁層10の他方の面(下面)に形成された第2の導体層12とを備えている。このように、第1の導体層11と第2の導体層12は、絶縁層10を介して重ね合わされている。

【0029】絶縁層10の一側部の近傍には、巻線の端子が配置される端子領域10bが設けられている。絶縁層10のうちの端子領域10bを除いた部分の中心部分には円形の孔10aが形成されている。孔10aにはコア(磁芯)を挿入できるようになっている。

【0030】図1に示したように、第1の導体層11は、箔状を含む平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第1の導体パターン11aを有している。導体としては例えば銅が用いられる。同様に、図3に示したように、第2の導体層12は、箔状を含む平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された第2の導体パターン12aを有している。第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aは、孔10aの外周部と絶縁層10の外周部との間の領域に配置されている。

【0031】本実施の形態に係る平面コイルは、例えば、絶縁基板の両面に導体層が形成された両面プリント基板における各導体層をエッチングすることによって製造してもよいし、導体板を打ち抜いて製造してもよい。また、スパッタ法等の薄膜形成技術によって製造してもよい。

【0032】第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aは、それぞれ $N$ ( $N$ は1以上の整数)+1ターンの巻線部分を含んでいる。本実施の形態では、特に、 $N=1$ としている。すなわち、第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aは、それぞれ2ターンの巻線部分を含んでいる。

【0033】第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aとでは導体の巻き方向が逆になっている。すなわち、図1に示したように、第1の導体パターン11aでは、導体は内側から外側にかけて時計回り方向に巻回され、図3に示したように、第2の導体パターン12aでは、導体は内側から外側にかけて反時計回り方向に巻回されている。

【0034】図1に示したように、第1の導体パターン11aの外側の端部は、絶縁層10の端子領域10bにおいて右側の位置に配置されている。絶縁層10の一方の面(上面)には、端子領域10bにおける左側の位置に、端子として用いられる端子層13が設けられている。

【0035】図3に示したように、第2の導体パターン12aの外側の端部は、絶縁層10の端子領域10bにおいて左側の位置に配置されている。絶縁層10の他方

の面（下面）には、端子領域 10b における右側の位置に、端子として用いられる端子層 14 が設けられている。

【0036】端子領域 10b における左側の位置には、端子層 13、絶縁層 10、および第 2 の導体パターン 12a の外側の端部を貫通するスルーホール 15 が形成されている。このスルーホール 15 を介して、端子層 13 と第 2 の導体パターン 12a の外側の端部とが電氣的に接続されている。

【0037】端子領域 10b における右側の位置には、第 1 の導体パターン 11a の外側の端部、絶縁層 10 および端子層 14 を貫通するスルーホール 16 が形成されている。このスルーホール 16 を介して、第 1 の導体パターン 11a の外側の端部と端子層 14 とが電氣的に接続されている。

【0038】図 1 および図 3 に示したように、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a の最も内側の巻線部分同士は、導体パターン 11a、12a および絶縁層 10 を貫通するスルーホール 17、18 によって並列に接続されている。これらによって巻線における 1 ターン分の導電路が構成される。なお、スルーホール 17、18 は、各導体パターン 11a、12a の最も内側の巻線部分における両端部の位置に設けられている。また、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a における他の巻線部分によって  $2N=2$  ターン分の導電路が構成される。このようにして、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a によって  $2N+1=3$  ターンの巻線が構成されている。

【0039】本実施の形態では、図 1 および図 3 に示したように、第 1 の導体パターン 11a と第 2 の導体パターン 12a とを、それらの幅に関して同様のパターンにすることが可能である。従って、本実施の形態によれば、最も内側の巻線部分と他の巻線部分との間の関係を除いて、導体パターンの幅が大きく異なる所が生じることを防止することができる。本実施の形態では、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a の最も内側の巻線部分によって構成される 1 ターン分の導電路の厚さは他の導電路の厚さの 2 倍となるが、その幅を調整することで、巻線全体の抵抗値を小さくして、巻線全体における損失を小さくすることが可能である。

【0040】本実施の形態では、特に、図 1 および図 3 に示したように、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a において、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分になっている。なお、他の巻線部分の幅は一定になっている。第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a の最も内側の巻線部分によって構成される 1 ターン分の導電路の厚さは他の導電路の厚さの 2 倍となるが、その幅は実質的に他の導電路の幅の半分となるので、その断面積は実質的に他の導電路の断面積と等しくなる。従って、本

実施の形態に係る平面コイルによれば、3 ターンの巻線の各部における電流密度は均一化され、巻線における損失が低減される。

【0041】また、本実施の形態によれば、2 層の導体層 11、12 によって 3 ターンの巻線を構成できる。また、本実施の形態によれば、巻線の 2 つの端子を 2 つの導体パターン 11a、12a の外側の端部より導出することができる。従って、巻線の両端子を、幅広なコアの外側に配置することができるため、中足と外足との接続部分の幅の広い、薄型のコアを使用することができる。これらのことから、本実施の形態によれば、平面コイルの薄型化が可能になる。

【0042】また、本実施の形態によれば、導体層 11、12 の層数の設計を 2 層単位で行うことができ、導体層 11、12 の層数の設計の自由度が大きくなる。

【0043】[第 2 の実施の形態] 次に、図 5 および図 6 を参照して、本発明の第 2 の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図 5 は本実施の形態に係る平面コイルにおける第 1 の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図 6 は本実施の形態に係る平面コイルにおける第 2 の導体層を示す平面図である。

【0044】本実施の形態に係る平面コイルの構成は、導体パターン 11a、12a の形状が異なることを除いて、第 1 の実施の形態に係る平面コイルと同様である。

【0045】本実施の形態に係る平面コイルでは、第 1 の導体パターン 11a および第 2 の導体パターン 12a において、内側から  $n$  ターン ( $n$  は 1 以上、 $N+1$  以下の整数) 目の巻線部分の内周部の半径を  $r_i(n)$ 、外周部の半径を  $r_o(n)$  とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径  $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差  $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離  $D$  が与えられたときに、以下の式 (1) で表される  $A$  の値が最小となるように  $r_i(n)$  および  $r_o(n)$  が定められている。ただし、 $K(1)=0.5$ 、 $n \geq 2$  のとき  $K(n)=2$ 、 $r_i(1)=r_{min}$ 、 $r_i(n+1)-r_o(n)=D$ 、 $r_o(N+1)-r_i(1)=W_{total}$  である。また、 $\log x$  は  $x$  の自然対数である。

【0046】

【数 5】

$$A = \sum_{n=1}^{N+1} K(n) \left( \log \frac{r_o(n)}{r_i(n)} \right)^{-1} \cdots (1)$$

【0047】本実施の形態では、式 (1) で表される  $A$  の値が最小となるように  $r_i(n)$  および  $r_o(n)$  を設定することにより、 $2N+1$  ターンの巻線全体の抵抗値が最小になり、その結果、巻線全体における損失が最小になる。以下、このことを詳しく説明する。

【0048】まず、厚さ  $t$ 、内半径  $r$ 、外半径  $r+dr$  のリング状の導体パターンを考える。この導体パターンの抵抗値は、幅  $dr$  が充分微小であるならば、 $(2\pi r$



$\times \rho) / (t \times d r)$  で表してよい。ここで、 $\rho$  は導体の体積抵抗率である。従って、導体パターンコンダクタンス、つまり抵抗値の逆数は、 $(t \times d r) / (2 \pi r \times \rho)$  となる。

【0049】内半径  $r_i$ 、外半径  $r_o$  のリング状の導体パターンは、上述のような微小な幅  $d r$  を持つリング状の導体パターンが並列に接続しているものと等価であると \*

$$\int_{r_i}^{r_o} \frac{t}{2 \pi r \rho} d r = \frac{t}{2 \pi \rho} \int_{r_i}^{r_o} \frac{1}{r} d r = \frac{t}{2 \pi \rho} [\log r]_{r_i}^{r_o} = \frac{t}{2 \pi \rho} (\log r_o - \log r_i) = \frac{t}{2 \pi \rho} \log \left( \frac{r_o}{r_i} \right) \dots (2)$$

【0051】厚さ  $t$ 、内半径  $r_i$ 、外半径  $r_o$  のリング状の導体パターンの抵抗値  $R$  は、この導体パターンのコンダクタンスの逆数であるから、以下の式 (3) で表される。

【0052】

【数7】

$$R = \frac{2 \pi \rho}{t \cdot \log \frac{r_o}{r_i}} \dots (3)$$

【0053】ここで、 $2 \pi \rho / t = B$  とする。第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aの最も内側の巻線部分によって構成される1ターン分の導電路の抵抗値  $R$  は、以下の式 (4) で表される。

【0054】

【数8】

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{B}{\log \frac{r_o(1)}{r_i(1)}} \dots (4)$$

※

$$R_{total} = \frac{1}{2} \cdot \frac{B}{\log \frac{r_o(1)}{r_i(1)}} + \sum_{n=2}^{N+1} 2 \cdot \frac{B}{\log \frac{r_o(n)}{r_i(n)}} \dots (6)$$

【0059】従って、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aにおいて、最も内側の巻線部分の内半径  $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外半径と最も内側の巻線部分の内半径との差  $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離  $D$  が与えられたときに、 $2N+1$  ターンの巻線全体の抵抗値を最小にするには、前記の式 (1) で表される  $A$  の値が最小となるように  $r_i(n)$  および  $r_o(n)$  を設定すればよい。

【0060】 $A$  の値が最小となる  $r_i(n)$  および  $r_o(n)$  の値は、解析的に求めるのは難しいが、コンピュータを利用した数値計算によって求めることができる。

【0061】本実施の形態では、特に、 $N=1$  とし、第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aとで3ターンの巻線を構成している。

【0062】本実施の形態に係る平面コイルによれば、式 (1) で表される  $A$  の値が最小となるように  $r_i(n)$  および  $r_o(n)$  を設定したので、巻線全体の抵抗値を最小にすることができる。従って、本実施の形態によれば、限

\*考えられる。従って、厚さ  $t$ 、内半径  $r_i$ 、外半径  $r_o$  のリング状の導体パターンのコンダクタンスは、以下の式 (2) のように、 $(t \times d r) / (2 \pi r \times \rho)$  を  $r_i \sim r_o$  の範囲で積分することによって求めることができる。

【0050】

【数6】

10※【0055】一方、第1の導体パターン11aの他の巻線部分の1ターン当たりの抵抗値と第2の導体パターン12aの他の巻線部分の1ターン当たりの抵抗値との和  $R$  は、以下の式 (5) で表される。

【0056】

【数9】

$$R = 2 \cdot \frac{B}{\log \frac{r_o(n)}{r_i(n)}} \dots (5)$$

20【0057】従って、 $2N+1$  ターンの巻線全体の抵抗値  $R_{total}$  は、以下の式 (6) で表される。

【0058】

【数10】

られた空間の中で損失が最小になるように巻線を配置することができ、その結果、導体の抵抗による損失を低減することができる。

【0063】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

40【0064】次に、第1の実施の形態に係る平面コイルの実施例（以下、第1の実施例と言う。）と第2の実施の形態に係る平面コイルの実施例（以下、第2の実施例と言う。）について説明すると共に、各実施例の平面コイルと2つの比較例の平面コイルとで、計算で求めた抵抗値を比較した結果について説明する。

【0065】図7は第1の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図8は第1の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。第1の比較例の平面コイルは、絶縁層110と、この絶縁層110の各面に形成された第1の導体層111および第2の導体層112を備えている。第1の導体層111は第1の導体パターン111aを有

し、第2の導体層112は第2の導体パターン112aを有している。第1の導体パターン111aは2ターンの巻線部分を有し、第2の導体パターン112aは1ターンの巻線部分を有している。第1の導体パターン111aと第2の導体パターン112aとでは導体の巻き方向が逆になっている。導体パターン111a、112aの内側の端部同士は、スルーホール117を介して電気的に接続されている。このようにして、導体パターン111a、112aによって3ターンの巻線が構成されている。

【0066】図9は第2の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図10は第2の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。第2の比較例の平面コイルは、絶縁層120と、この絶縁層120の各面に形成された第1の導体層121および第2の導体層122を備えている。第1の導体層121は第1の導体パターン121aを有し、第2の導体層122は第2の導体パターン122aを有している。第1の導体パターン121aは1.5ターンの巻線部分を有し、第2の導体パターン122aも1.5ターンの巻線部分を有している。第1の導体パターン121aと第2の導体パターン122aとでは導体の巻き方向が逆になっている。導体パターン121a、122aの内側の端部同士は、スルーホール127を介して電気的に接続されている。このようにして、導体パターン121a、122aによって3ターンの巻線が構\*

\*成されている。

【0067】第1の実施例、第2の実施例、第1の比較例および第2の比較例のそれぞれの平面コイルでは、巻線を構成する導体として銅を用い、導体の厚さ $t$ を0.06mm、最も内側の巻線部分の内半径 $r_{\min}$ を6.4mm、最も外側の巻線部分の外半径と最も内側の巻線部分の内半径との差 $W_{\text{total}}$ を5.1mm、隣接するターン間における巻線部分間の距離 $D$ を0.2mmとした。この条件の下で、各平面コイルについて、各ターン毎の巻線部分の内半径 $r_i(n)$ および外半径 $r_o(n)$ を求めると共に、巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ を求めた。なお、銅の体積抵抗率は $1.72 \times 10^{-8} (\Omega \text{m})$ とした。また、以下、各ターン毎の巻線部分の幅 $r_o(n) - r_i(n)$ を $W(n)$ で表す。

【0068】第1の実施例、第2の実施例および第1の比較例のそれぞれの平面コイルにおける各ターン毎の巻線部分の幅 $W(n)$ と巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ は、下記の表に示したようになる。なお、表では、第1の導体層をA層と記し、第2の導体層をB層と記す。第2の比較例の平面コイルでは、 $W_{\text{total}}$ の中で、2ターン分の導電路を構成している部分の幅と1ターン分の導電路を構成している部分の幅の比が、第1の比較例と同じであるため、抵抗値は原理的に第1の比較例と同等である。

【0069】

【表1】

	第1の実施例	第2の実施例	第1の比較例
$R_{\text{total}} (\text{m}\Omega)$	14.74	14.46	16.15
A層 $W(1) (\text{mm})$	1.63	1.33	2.45
A層 $W(2) (\text{mm})$	3.27	3.57	2.45
B層 $W(1) (\text{mm})$	1.63	1.33	5.10
B層 $W(2) (\text{mm})$	3.27	3.57	-----

【0070】上記の表から分かるように、第1の実施例の平面コイルでは、巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ を、第1の比較例の平面コイルに比べて8.71%低減できる。また、第2の実施例の平面コイルでは、巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ を、第1の比較例の平面コイルに比べて10.45%低減できる。

【0071】ところで、第1の実施例では、内側の巻線部分の幅 $W(1)$ は、外側の巻線部分の幅 $W(2)$ の0.5倍になっている。また、第2の実施例では、各ターン毎の巻線部分の幅 $W(n)$ は、式(1)で表されるAの値が最小となるように決められるが、上記の例では、内側の巻線部分の幅 $W(1)$ は、外側の巻線部分の幅 $W(2)$ の0.37倍になっている。しかし、外側の巻線部分の幅 $W(2)$ に対する内側の巻線部分の幅 $W(1)$ の比、 $W(1)/W(2)$

が0.5や0.37ではなくとも、巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ を第1の比較例の平面コイルに比べて低減することが可能である。このことを、図11および図12を参照して説明する。

【0072】図11は、各ターン毎の巻線部分の幅 $W(1)$ 、 $W(2)$ 以外の条件を第1の実施例、第2の実施例および第1の比較例と同様とし、 $W(1)/W(2)$ を変化させたときの巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ の、第1の比較例における巻線全体の抵抗値 $R_{\text{total}}$ に対する比をグラフにして表したものである。図11から、上記の条件の下では、 $W(1)/W(2)$ が0.18から0.75という広い範囲で、上記抵抗値の比が1以下となることが分かる。従って、この場合には、 $W(1)/W(2)$ が0.18より大きく、0.75より小さい範囲で、第1の比較例よりも巻



線全体の抵抗値 $R_{total}$ を低減することができる。

【0073】上記抵抗値の比が1以下となる $W(1)/W(2)$ の範囲は、 $r_{min}$ 、 $W_{total}$ および $D$ の値によって変化する。例えば、 $r_{min}$ を3mmとし、その他の条件は図11のグラフを求めたときと同様とした場合を考える。また、この場合における比較例として、 $r_{min}$ を3mmとする他は第1の比較例と同様のものを考える。この場合、 $W(1)/W(2)$ を変化させたときの巻線全体の抵抗値 $R_{total}$ の、比較例における巻線全体の抵抗値 $R_{total}$ に対する比をグラフにして表すと、図12に示したようになる。この場合には、図12から、 $W(1)/W(2)$ が0.13から0.68という広い範囲で、上記抵抗値の比が1以下となることが分かる。従って、この場合には、 $W(1)/W(2)$ が0.13より大きく、0.68より小さい範囲で、比較例よりも巻線全体の抵抗値 $R_{total}$ を低減することができる。

【0074】このように、本発明では、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの幅に関して、最も内側の巻線部分の幅が実質的に他の巻線部分の幅の半分になっている場合や、式(1)で表される $A$ の値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められている場合に限らず、例えば図11および図12に示したような広い範囲で、巻線全体の抵抗値 $R_{total}$ を低減できることができる。

【0075】【第3の実施の形態】次に、図13ないし図16を参照して、本発明の第3の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図13は本実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図14は本実施の形態に係る平面コイルにおける絶縁層を示す平面図、図15は本実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図、図16は図13におけるB-B線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【0076】本実施の形態に係る平面コイルでは、 $N=2$ としている。すなわち、第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aは、それぞれ3ターンの巻線部分を含んでいる。そして、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aによって $2N+1=5$ ターンの巻線が構成されている。第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aにおいて、最も内側の巻線部分の幅は実質的に他の巻線部分の幅の半分になっている。なお、他の巻線部分の幅は一定になっている。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

【0077】【第4の実施の形態】次に、図17および図18を参照して、本発明の第4の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図17は本実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図18は本実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【0078】本実施の形態に係る平面コイルの構成は、導体パターン11a、12aの形状が異なることを除いて、第3の実施の形態に係る平面コイルと同様である。

【0079】本実施の形態に係る平面コイルでは、第2の実施の形態と同様に、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aにおいて、内側から $n$ ターン( $n$ は1以上、 $N+1$ 以下の整数)目の巻線部分の内周部の半径を $r_i(n)$ 、外周部の半径を $r_o(n)$ とし、最も内側の巻線部分の内周部の半径 $r_{min}$ 、最も外側の巻線部分の外周部の半径と最も内側の巻線部分の内周部の半径との差 $W_{total}$ 、および隣接するターン間における巻線部分間の距離 $D$ が与えられたときに、式(1)で表される $A$ の値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ が定められている。

【0080】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第2または第3の実施の形態と同様である。

【0081】次に、第3の実施の形態に係る平面コイルの実施例(以下、第3の実施例と言う。)と第4の実施の形態に係る平面コイルの実施例(以下、第4の実施例と言う。)について説明すると共に、各実施例の平面コイルと第3の比較例の平面コイルとで、計算で求めた抵抗値を比較した結果について説明する。

【0082】図19は第3の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図、図20は第3の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。第3の比較例の平面コイルは、絶縁層110と、この絶縁層110の各面に形成された第1の導体層111および第2の導体層112を備えている。第1の導体層111は第1の導体パターン111aを有し、第2の導体層112は第2の導体パターン112aを有している。第1の導体パターン111aは3ターンの巻線部分を有し、第2の導体パターン112aは2ターンの巻線部分を有している。第1の導体パターン111aと第2の導体パターン112aとでは導体の巻き方向が逆になっている。導体パターン111a、112aの内側の端部同士は、スルーホール117を介して電気的に接続されている。このようにして、導体パターン111a、112aによって5ターンの巻線が構成されている。

【0083】第3の実施例、第4の実施例および第3の比較例のそれぞれの平面コイルでは、巻線を構成する導体として銅を用い、導体の厚さ $t$ を0.06mm、最も内側の巻線部分の内半径 $r_{min}$ を6.4mm、最も外側の巻線部分の外半径と最も内側の巻線部分の内半径との差 $W_{total}$ を5.1mm、隣接するターン間における巻線部分間の距離 $D$ を0.2mmとした。この条件の下で、各平面コイルについて、各ターン毎の巻線部分の内半径 $r_i(n)$ および外半径 $r_o(n)$ を求めると共に、巻線全体の抵抗値 $R_{total}$ を求めた。なお、銅の体積抵抗率は

1.  $72 \times 10^{-8}$  ( $\Omega m$ )とした。また、以下、各ターン毎の巻線部分の幅  $r_o(n) - r_i(n)$  を  $W(n)$  で表す。

【0084】第3の実施例、第4の実施例および第3の比較例のそれぞれの平面コイルにおける各ターン毎の巻線部分の幅  $W(n)$  と巻線全体の抵抗値  $R_{total}$  は、下記の\*

	第3の実施例	第4の実施例	第3の比較例
$R_{total} (m\Omega)$	42.93	41.96	43.86
A層 $W(1)(mm)$	0.94	0.74	1.57
A層 $W(2)(mm)$	1.88	1.76	1.57
A層 $W(3)(mm)$	1.88	2.20	1.57
B層 $W(1)(mm)$	0.94	0.74	2.45
B層 $W(2)(mm)$	1.88	1.76	2.45
B層 $W(3)(mm)$	1.88	2.20	-----

【0086】上記の表から分かるように、第3の実施例の平面コイルでは、巻線全体の抵抗値  $R_{total}$  を、第3の比較例の平面コイルに比べて2.12%低減できる。また、第4の実施例の平面コイルでは、巻線全体の抵抗値  $R_{total}$  を、第3の比較例の平面コイルに比べて4.35%低減できる。なお、第1の導体パターンと第2の導体パターンがそれぞれ2.5ターンの巻線部分を有し、これらによって5ターンの巻線を構成した平面コイルにおける巻線全体の抵抗値は第3の比較例と同等である。

【0087】【第5の実施の形態】次に、図21ないし図25を参照して、本発明の第5の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図21は本実施の形態に係る平面コイルの平面図、図22は図21に示した平面コイルの右側面図、図23は図21におけるC-C線で示す断面を拡大して表した断面図である。また、図24は本実施の形態に係る平面コイルにおけるコアを示す平面図、図25はこのコアの側面図である。

【0088】本実施の形態に係る平面コイルでは、第1または第2の実施の形態における絶縁層10、第1の導体層11および第2の導体層12を1組とし、これを厚さ方向に3組積層し、各組毎の巻線を並列に接続している。本実施の形態に係る平面コイルは、積層された3組の絶縁層10、第1の導体層11および第2の導体層12よりなる積層体20と、この積層体20に装着されたE型のコア21A、21Bとを備えている。

【0089】図21および図22に示したように、端子領域10bはコア21A、21Bの外側に配置されている。積層体20中の各組毎の巻線は、スルーホール15、16を介して並列に接続されている。図22に示したように、スルーホール15、16には、例えば、端子22が挿入されるようになっている。

\*表に示したようになる。なお、表では、第1の導体層をA層と記し、第2の導体層をB層と記す。

【0085】

【表2】

【0090】また、図23に示したように、E型のコア21A、21Bは、中央の凸部同士が絶縁層10の孔10aを通して突き合わされるように配置されている。

【0091】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1または第2の実施の形態と同様である。

【0092】【第6の実施の形態】次に、図26を参照して、本発明の第6の実施の形態に係る平面コイルの構成について説明する。図26は本実施の形態に係る平面コイルの断面図である。本実施の形態に係る平面コイルでは、第5の実施の形態における積層体20の代わりに、以下のような積層体20を設けている。すなわち、本実施の形態では、第3または第4の実施の形態における絶縁層10、第1の導体層11および第2の導体層12を1組とし、これを厚さ方向に3組積層し、各組毎の巻線を並列に接続して積層体20を構成している。

【0093】本実施の形態に係る平面コイルの実施例（以下、第5の実施例と言う。）として、第3の実施例の平面コイルを3組積層し、各組毎の巻線を並列に接続して積層体20を構成したものを試作した。この試作した第5の実施例の平面コイルにおける巻線全体の抵抗値を測定したところ、15.05 m $\Omega$ であった。

【0094】また、第5の実施例に対する比較例（以下、第4の比較例と言う。）として、第3の比較例の平面コイルを3組積層し、各組毎の巻線を並列に接続して積層体220を構成したものを試作した。図27は、この第4の比較例の平面コイルの断面図である。第4の比較例の平面コイルにおいて、積層体220以外の構成は第5の実施例と同様である。第4の比較例の平面コイルにおける巻線全体の抵抗値を測定したところ、15.38 m $\Omega$ であった。

【0095】従って、第4の比較例の平面コイルに対す

20

30

40

50

る第5の実施例の平面コイルの抵抗値の低減率は2.15%であり、これは、第3の比較例の平面コイルに対する第3の実施例の平面コイルの抵抗値の低減率と同等である。

【0096】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第3、第4または第5の実施の形態と同様である。

【0097】【第7の実施の形態】次に、本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスの構成について説明する。図28は本実施の形態に係る平面トランスの平面図、図29は図28に示した平面トランスの右側面図、図30は図28におけるD-D線で示す断面を拡大して表した断面図である。本実施の形態に係る平面トランスは、それぞれ平面的に配置された導体によって形成された一次巻線と二次巻線とを有するものである。図28ないし図30に示したように、本実施の形態に係る平面トランスは、複数の導体層と複数の絶縁層が交互に積層されて構成された積層体30と、この積層体30に装着されたE型のコア21A、21Bとを備えている。

【0098】図28および図29に示したように、積層体30は端子領域31、32を有している。端子領域31、32は、互いに反対側の位置に配置され、且つコア21A、21Bの外側に配置されている。端子領域31にはスルーホール33、34が設けられ、端子領域32にはスルーホール35、36が設けられている。図29に示したように、例えば、スルーホール33、34には端子37が挿入され、スルーホール35、36には端子38が挿入されるようになっている。

【0099】また、図30に示したように、E型のコア21A、21Bは、中央の凸部同士が後述する絶縁層40の孔40aを通して突き合わされるように配置されている。

【0100】積層体30は、PA層、PB層、SA層、SB層の4種類の導体層と、絶縁層40とを有している。4種類の導体層は、それぞれ箔状を含む平板状の導体が渦巻き状に配置されて形成された導体パターンを有している。PA層とPB層は5ターンの一次巻線を構成し、SA層とSB層は2ターンの二次巻線を構成する。従って、本実施の形態に係る平面トランスの巻線比は5:2となる。

【0101】図31はPA層とその下の絶縁層40とを示す平面図、図32はPB層とその下の絶縁層40とを示す平面図、図33はSA層とその下の絶縁層40とを示す平面図、図34はSB層とその下の絶縁層40とを示す平面図、図35は絶縁層40の平面図である。

【0102】図31に示したように、PA層は、第3または第4の実施の形態と同様の第1の導体パターン11aを有している。図32に示したように、PB層は、第3または第4の実施の形態と同様の第2の導体パターン12aを有している。すなわち、第1の導体パターン1

1aと第2の導体パターン12aは、それぞれ3ターンの巻線部分を含んでいる。第1の導体パターン11aと第2の導体パターン12aとでは導体の巻き方向が逆になっている。また、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aの最も内側の巻線部分同士は、導体パターン11a、12aおよび絶縁層40を貫通するスルーホール17、18によって並列に接続される。従って、第1の導体パターン11aおよび第2の導体パターン12aによって5ターンの一次巻線が構成される。

【0103】図31に示したように、第1の導体パターン11aの外側の端部はスルーホール34に接続されている。第1の導体パターン11aが設けられた絶縁層40の面上には、それぞれスルーホール33、35、36に接続された端子層13、45、46が設けられている。

【0104】図32に示したように、第2の導体パターン12aの外側の端部はスルーホール33に接続されている。第2の導体パターン12aが設けられた絶縁層40の面上には、それぞれスルーホール34、35、36に接続された端子層14、45、46が設けられている。

【0105】図33、図34に示したように、SA層、SB層は、それぞれ導体パターン51a、52aを有している。導体パターン51a、52aは、それぞれ1ターンの巻線部分を有している。導体パターン51a、52aでは導体の巻き方向が逆になっている。導体パターン51aの一方の端部はスルーホール35に接続されている。導体パターン51aが設けられた絶縁層40の面上には、それぞれスルーホール33、34、36に接続された端子層13、14、46が設けられている。導体パターン52aの一方の端部はスルーホール36に接続されている。導体パターン52aが設けられた絶縁層40の面上には、それぞれスルーホール33、34、35に接続された端子層13、14、45が設けられている。導体パターン51a、52aの他方の端部同士は、導体パターン51a、52aおよび絶縁層40を貫通するスルーホール53を介して電氣的に接続されている。このようにして、導体パターン51a、52aによって2ターンの二次巻線が構成されている。

【0106】図35に示したように、絶縁層40の中心部分には円形の孔40aが形成されている。各導体パターンは、孔40aの外周部と絶縁層40の外周部との間の領域に配置されている。また、絶縁層40には、前述のスルーホール17、18、33~36、53が形成されている。

【0107】PA層、PB層、SA層およびSB層の積層の順番は、下からSA層-PB層-SB層-PB層-SA層-SA層-SB層-SA層-PB層-SB層-PB層-SA層-SA層-PB層-SB層の順番となっている。

【0108】本実施の形態に係る平面トランスの実施例（以下、第6の実施例と言う。）として、PA層、PB層に、それぞれ、第3の実施例における第1の導体パターン11a、第2の導体パターン12aを有するものを用い、絶縁層40の厚さを0.1mmとし、フェライト製のコア21A、21Bを用いたものを試作した。この試作した第6の実施例の平面トランスについて、200kHzにおける一次側から見た巻線抵抗を測定したところ、36.82mΩであった。

【0109】また、第6の実施例に対する比較例（以下、第5の比較例と言う。）として、PA層、PB層に、それぞれ、第3の比較例における第1の導体パターン111a、第2の導体パターン112aを有するものを用い、絶縁層40の厚さを0.1mmとして積層体230を構成すると共に、フェライト製のコア21A、21Bを用いたものを試作した。図36は、この第5の比較例の平面トランスの断面図である。この試作した第5の比較例の平面トランスについて、200kHzにおける一次側から見た巻線抵抗を測定したところ、37.81mΩであった。

【0110】従って、第6の実施例の平面トランスでは、第5の比較例の平面トランスに対して、200kHzにおける高周波抵抗を2.6%削減できた。

【0111】なお、本実施の形態では、一次巻線を奇数ターン（5ターン）とし、二次巻線を偶数ターン（2ターン）としたが、逆に、一次巻線を偶数ターンとし、二次巻線を奇数ターンとしてもよい。あるいは、一次巻線と二次巻線の双方を奇数ターンとしてもよい。

【0112】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第3または第4の実施の形態と同様である。

【0113】なお、本発明は上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、巻線や導体パターンのターン数や、導体層の数は、実施の形態に示されたものに限定されず、任意に設定可能である。

【0114】また、本発明は、一次巻線と二次巻線の一方が、平板状以外の導体、例えば丸線の導体によって構成された平面トランスにも適用することができる。

【0115】

【発明の効果】以上説明したように請求項1ないし4記載のいずれかに記載の平面コイルもしくは請求項5ないし7のいずれかに記載の平面トランスでは、それぞれN+1ターンの巻線部分を含む第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻線部分同士を並列に接続することにより2N+1ターンの巻線を構成している。従って、本発明では、第1の導体パターンと第2の導体パターンとを、それらの幅に関して同様のパターンにすることが可能である。また、本発明では、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンの最も内側の巻

線部分によって構成される1ターン分の導電路の厚さは他の導電路の厚さの2倍となるが、その幅を調整することで、2N+1ターンの巻線全体の抵抗値を小さくして、巻線全体における損失を小さくすることが可能である。以上のことから、本発明によれば、平面コイルまたは平面トランスの薄型化が可能で、導体層の層数の設計の自由度を大きくすることができ、更に、損失を低減することができるという効果を奏する。

【0116】また、請求項2記載の平面コイルまたは請求項6記載の平面トランスでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、最も内側の巻線部分の幅を実質的に他の巻線部分の幅の半分としている。従って、本発明によれば、2N+1ターンの巻線の各部における電流密度を均一化でき、その結果、巻線における損失をより低減することができるという効果を奏する。

【0117】また、請求項3記載の平面コイルまたは請求項7記載の平面トランスでは、第1の導体パターンおよび第2の導体パターンにおいて、式(1)で表されるAの値が最小となるように $r_i(n)$ および $r_o(n)$ を設定している。従って、本発明によれば、2N+1ターンの巻線全体の抵抗値を最小にすることができ、その結果、巻線全体における損失が最小にすることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る平面コイルにおける絶縁層を示す平面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図4】図1におけるA-A線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図6】本発明の第2の実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図7】第1の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図8】第1の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図9】第2の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図10】第2の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図11】本発明において各ターン毎の巻線部分の幅を変えたときの、本発明における巻線全体の抵抗値と比較例における巻線全体の抵抗値との比の変化の一例を示す特性図である。

【図12】本発明において各ターン毎の巻線部分の幅を変えたときの、本発明における巻線全体の抵抗値と比較例における巻線全体の抵抗値との比の変化の他の例を示す特性図である。

【図13】本発明の第3の実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図14】本発明の第3の実施の形態に係る平面コイルにおける絶縁層を示す平面図である。

【図15】本発明の第3の実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図16】図13におけるB-B線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【図17】本発明の第4の実施の形態に係る平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図18】本発明の第4の実施の形態に係る平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図19】第3の比較例の平面コイルにおける第1の導体層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図20】第3の比較例の平面コイルにおける第2の導体層を示す平面図である。

【図21】本発明の第5の実施の形態に係る平面コイルの平面図である。

【図22】図21に示した平面コイルの右側面図である。

【図23】図21におけるC-C線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【図24】本発明の第5の実施の形態に係る平面コイルにおけるコアを示す平面図である。

【図25】本発明の第5の実施の形態に係る平面コイル

におけるコアの側面図である。

【図26】本発明の第6の実施の形態に係る平面コイルの断面図である。

【図27】第4の比較例の平面コイルの断面図である。

【図28】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスの平面図である。

【図29】図28に示した平面トランスの右側面図である。

【図30】図28におけるD-D線で示す断面を拡大して表した断面図である。

【図31】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスにおけるPA層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図32】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスにおけるPB層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図33】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスにおけるSA層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図34】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスにおけるSB層とその下の絶縁層とを示す平面図である。

【図35】本発明の第7の実施の形態に係る平面トランスにおける絶縁層の平面図である。

【図36】第5の比較例の平面トランスの断面図である。

【符号の説明】

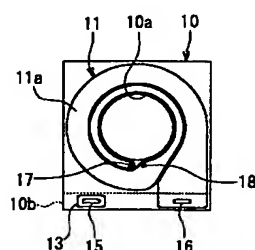
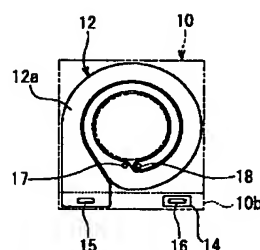
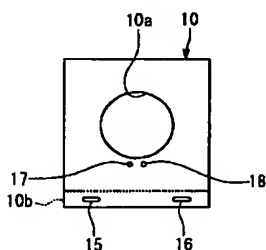
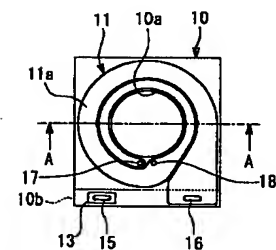
10…絶縁層、11…第1の導体層、11a…第1の導体パターン、12…第2の導体層、12a…第2の導体パターン、13、14…端子層、15～18…スルーホール。

【図1】

【図2】

【図3】

【図5】

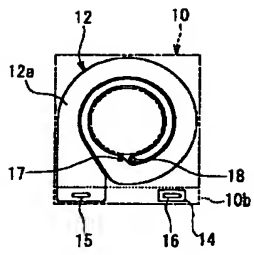


【図4】

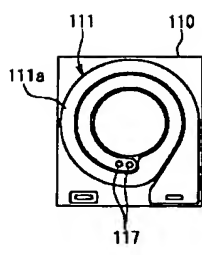
【図16】



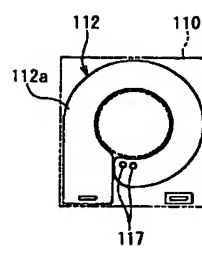
【図6】



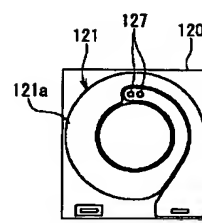
【図7】



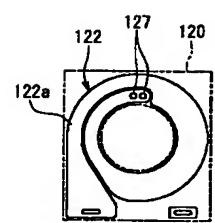
【図8】



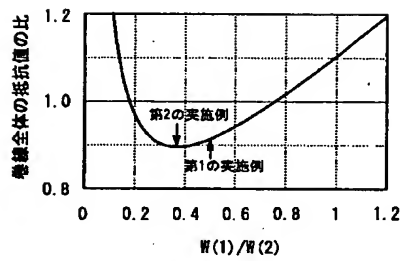
【図9】



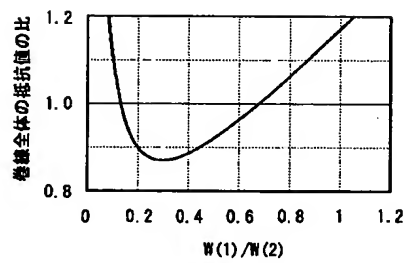
【図10】



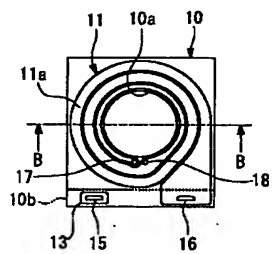
【図11】



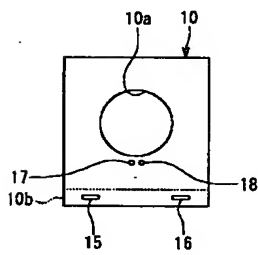
【図12】



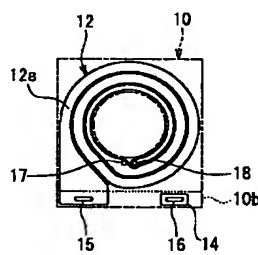
【図13】



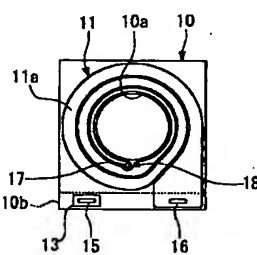
【図14】



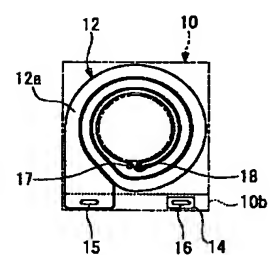
【図15】



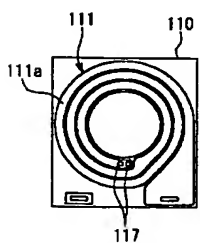
【図17】



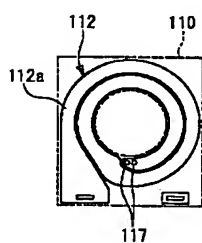
【図18】



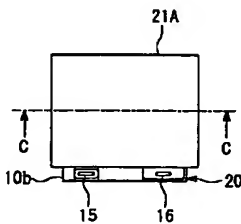
【図19】



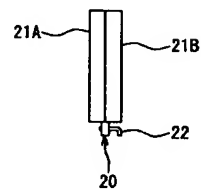
【図20】



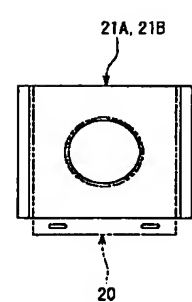
【図21】



【図22】

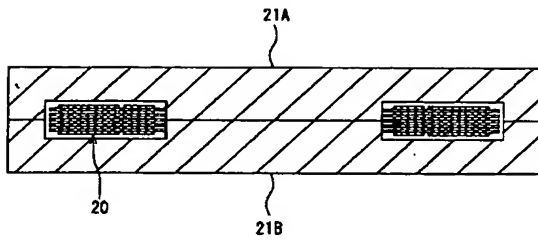


【図24】

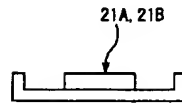




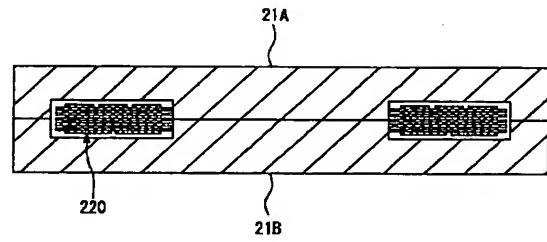
【図23】



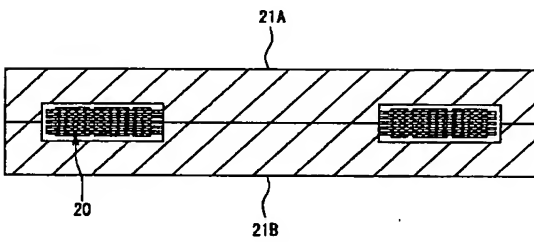
【図25】



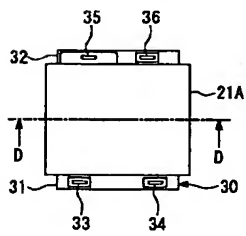
【図27】



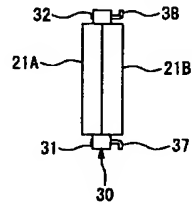
【図26】



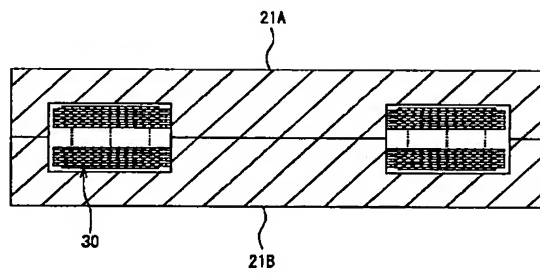
【図28】



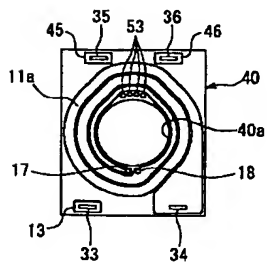
【図29】



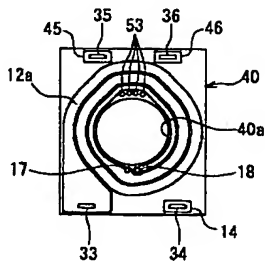
【図30】



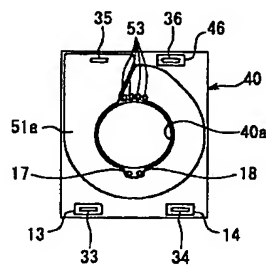
【図31】



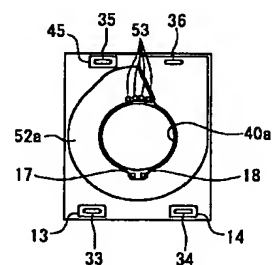
【図32】



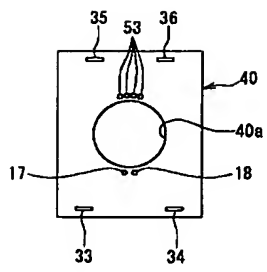
【図33】



【図34】



【図35】



【図36】

